

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p. 59-67

ESTUDIO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS POR MICROPILOTES: DISEÑO
DE UN SOFTWARE PARA SU COMPROBACIÓN EN
OBRA NUEVA Y RECALCES

SÁNCHEZ LADOUX, RAFAEL¹; VALVERDE PALACIOS, IGNACIO²;
VALVERDE ESPINOSA, IGNACIO³

*1: Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
Universidad de Granada
e-mail: rafaladoux@hotmail.com*

*2: Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
Universidad de Granada
e-mail: nachoval@ugr.es*

*2: Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
Universidad de Granada
e-mail: valverde@ugr.es*

Palabras clave: micropilotes; software; geotecnia; obra nueva, recalces.

RESUMEN

Se presenta un software para PC's, denominado Micropilotes v1.0, ejecutable desde un sistema operativo Windows de Microsoft, cuyo fin sea realizar la comprobación de micropilotes tanto en obra nueva como en recalces de cimentaciones con patologías, que le pueda resultar útil a proyectistas de dicha tecnología de cimentación en el desarrollo de su trabajo.

Micropilotes v1.0 persigue ser un programa sencillo, pero a la vez útil y potente, que sirva para realizar la comprobación por diferentes métodos de cálculo, de una única cimentación aislada o corrida por micropilotes, tanto en obra nueva como en recalce, bajo unas determinadas acciones y un modelo geotécnico definido por el usuario.

1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Desde el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada, algunos profesores están tutorizando a alumnos para la realización de proyectos brillantes como este, cuyos resultados deben de ser presentados a la comunidad científica y técnica como parte del Proyecto Fin de Grado en el que el alumno, Rafael Sánchez Ladoux, ahora ya Graduado en Edificación, obtuvo la calificación de sobresaliente (9.5).

La razón que motivó la realización este Software surgió tras años del ejercicio profesional tanto del campo de Arquitecto Técnico, Ingeniero Industrial como Geotécnico, ya que en bastantes ocasiones se ha planteado la necesidad de dimensionar o comprobar una cimentación por micropilotes, bien para una obra nueva, o bien como propuesta de recalce ante una patología detectada en una cimentación existente.

Ante dicha situación lo que habitualmente hacen los técnicos proyectistas de cimentaciones y estructuras es, ya que no se dispone de un programa comercial tipo Cype o similar que resuelva de manera integrada la totalidad del problema, se recurre a realizar una comprobación y/o dimensionado manual (de manera artesana, sin la asistencia que un software global suele proporcionar).

Si se incide aún más en el vacío que existe en el mercado en lo referente a software relacionado con el diseño de micropilotes y la mecánica del suelo, es cierto que hoy en día existen multitud de desarrolladores de software dedicados al cálculo de cimentaciones y estructuras, tales como Cype [1] o Tricalc [2]. Sin embargo, existen aspectos relevantes que no son tratados en estos programas. Tratar uno de esos aspectos es lo que pretende el programa Micropilotes v1.0.

En concreto, Cype [1], magnífico paquete de software, tiene un paquete de elementos estructurales donde específicamente presenta un módulo referente a elementos de cimentación. Dicho programa se define con un uso específico para el “dimensionado, cálculo y armado de zapatas y encepados: cálculo y comprobación de placas de anclaje para pilares”. Se encarga del dimensionado del encepado y de realizar la comprobación de la capacidad portante del pilote. Dicha comprobación la realiza mediante una comparación de carga asignada al pilote gracias a una bajada de cargas, con un valor de capacidad portante del pilote introducido que es impuesto por el usuario a su criterio como dato de entrada, sin entrar en ninguna consideración del modelado geotécnico del terreno existente gobernado por la mecánica del suelo ni de cómo a través de la aplicación de la resistencia de los materiales constituyentes del pilote se puede obtener ese valor que se impone, no obstante, no aborda el dimensionado de los pilotes, sólo el del encepado. La solución por micropilotes como cimentación o recalce no es contemplada por debajo del encepado.

Como objetivos concretos se establecieron los siguientes:

1. El programa debe ser una **herramienta rápida, cómoda y flexible**, que permita al usuario tras una intuitiva introducción de datos en el programa obtener unos completos resultados que le indiquen como se está comportando la cimentación por micropilotes diseñada.
2. El programa se debe de encuadrar en un **entorno gráfico agradable**, que incentive a un usuario a “adentrarse” en él, y le guíe en la introducción de datos y obtención de resultados.

3. El programa se desarrollará a **dos niveles** claramente diferenciados en función de las necesidades y conocimientos del usuario, debiendo por un lado proporcionar a un **usuario no experto** en estructuras de cimentación de la suficiente información (coeficientes de uso) para realizar una rápida validación de la cimentación por micropilotes propuesta. Pero por otro lado debe de proporcionar a un **usuario experto** (con conocimientos más sólidos en cálculo de cimentaciones) de las herramientas necesarias para realizar un estudio más intenso a través de los diversos parámetros que gobiernan cada uno de los métodos de cálculo que el programa utilizará.
4. El programa deberá tener cierta ligazón con el ineludible **ámbito económico** que todas las obras de construcción tienen, por lo que en la medida que sea posible debe de proporcionar una valoración económica de la propuesta de cimentación introducida.
5. El programa deberá permitir realizar, a un usuario experto, una labor crítica en el ámbito de la obtención de los parámetros resistentes necesarios para el diseño de los micropilotes (resistencia por punta y fuste de los diferentes niveles geotécnicos) que los informes geotécnicos estiman en base a los ensayos de campo y laboratorio realizados.
6. El programa debe de tener cierto grado de flexibilidad ante un **cambio de normativa** en lo referente a modificación de coeficientes parciales de seguridad o incluso a que un usuario desee explorar libremente su modificación o incluso emplear un método de cálculo con unos parámetros de resistencia por punta y fuste de los diferentes niveles geotécnicos que decida imponer.

2. METODOLOGÍA

2.1 REFERENTE A LA CONFECCIÓN DEL SOFTWARE

En concreto se han seguido los siguientes pasos:

1. Detectar la necesidad que poseen los técnicos proyectistas de cimentaciones hoy en día en lo referente a software para la comprobación de cimentaciones de obra nueva o recalces mediante el empleo de micropilotes.
2. Analizar toda la normativa y documentación técnica de referencia (CTE [3], GE-MOC [4]).
3. Seleccionar y adquirir conocimientos sólidos en algún lenguaje de programación. Se decide finalmente emplear el lenguaje de programación Microsoft Visual Basic 6.0.
4. Fase de desarrollo del programa tanto a nivel de interfaz con el usuario como implementación de los diferentes métodos de cálculo.
5. Fase de revisión y verificación de Micropilotes v1.0.

2.2 REFERENTE A LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE MICROPILOTES

Los métodos más importantes de cálculo de micropilotes como elementos de cimentación son los siguientes: Método tradicional “pali radice” de Lizzi (1985) [3]; Método

empírico de Michel Bustamante (1986) [5], empleado por ejemplo también para el cálculo de los micropilotes en el caso de la conservación de un muro tierra [7]; Métodos propuestos por la Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, GMOC (2006) [4].

En concreto los métodos de cálculo empleados por el Software Micropilotes v1.0. son los siguientes:

- Método de cálculo para comprobación estructural, habitualmente llamada comprobación de Tope estructural: GMOC en su apartado 3.6.1. Resistencia estructural del micropilote a compresión.
- Métodos de cálculo para la comprobación de capacidad de soporte del terreno frente al modo de fallo de hundimiento, habitualmente llamada comprobación geotécnica o al hundimiento. Según tabla adjunta.
- La **comprobación de recubrimiento**, la realiza el programa en base a lo expuesto en el apartado 2.3.2. *Recubrimiento mínimo* de la GMOC.
- En lo referente a la **comprobación económica**, Micropilotes v1.0 la realiza como se detalla a continuación. Si el usuario decide realizar estudio económico, puede realizarlo en dos vertientes.
- Si se desea conocer únicamente el **coste unitario** de la tipología de micropilote seleccionado el programa muestra dicho coste unitario en €/m si se encuentra en el banco de precios de la construcción de Cype Ingenieros del año 2015.

Si se desea realizar un **estudio de costes totales** este vendrá definido por dos partidas:

- **El coste del montaje, desmontaje y traslado del equipo** que es independiente de la longitud de micropilotes. El programa propone el valor reflejado en el banco de precios de la construcción de Cype Ingenieros del año 2015 para la provincia de Granada, aunque el usuario también puede modificarlo y emplear otro valor impuesto.
- **El coste de ejecución de los micropilotes**, para lo cual el usuario deberá indicar el número total de micropilotes de la longitud considerada, para que sirva dicha cantidad como multiplicador del coste unitario de los mismos que, bien es propuesto por el programa banco de precios de la construcción de Cype Ingenieros del año 2015 para la provincia de Granada, aunque el usuario también puede modificarlo y emplear otro valor impuesto diferente al propuesto.

Tabla 1. Métodos de cálculo empleados por Micropilotes v1.0 para la comprobación geotécnica (hundimiento)

Tipología de terreno	Parámetros conocidos	Niveles geotécnicos	Método de cálculo de Micropilotes V1.0
Cimentación en suelo o roca alterada	Ensayos campo y laboratorio	Rellenos, gravas, arenas, limos y arcillas.	<i>Bustamante</i> <i>GMOC Método teórico</i> <i>GMOC Método correlaciones empíricas</i>
		Rellenos, gravas, arenas, limos, arcillas, marga, creta y roca alterada	<i>Bustamante</i> <i>GMOC Método teórico</i>
	Resistencias unitarias impuestas por usuario	Indiferente	<i>Propio de las resistencias unitarias impuestas</i>
Empotramiento en roca	Longitud empotramiento y resistencia roca	Tipología de roca	<i>GMOC Empotramiento en roca</i>

3. RESULTADOS. PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE MEDIANTE UN CASO REAL

3.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN QUE SE HA TOMADO DE EJEMPLO

La cimentación que se ha estudiado es una edificación residencial en el centro urbano de Torremolinos, cuya parcela tiene dimensiones reducidas (aproximadamente un cuarto de circunferencia de unos 12 metros de radio). La edificación se proyecta en planta baja, 4 alturas, cubierta y casetón (Figura 1).



Figura 1. Fotografía del solar (izquierda), del edificio ya terminado (derecha) y del modelo estructural de la edificación obtenido con CYPE (centro).

3.2 INFORME GEOTÉCNICO

Se detectan 3 niveles geotécnicos: Relleno antrópico (0-6 metros), Arena limosa (6-27 metros) y Arcilla margosa (27-31 metros).

Tabla 2. niveles geotécnicos y sus parámetros.

Niveles	Cotas (m)	Densidad (T/m ³)	Ángulo rozamiento Interno (°)	Cohesión (T/m ²)
I: Relleno	0.00-6.00	1.50	20°	0.00
II: Arena limosa (SM)	6.00-9.00	1.80	30°	0.00
III: Arcilla margosa (CL)	>27.00	1.70	25°	2.00

El proyecto no contempla sótano, por lo que al haberse detectado un relleno antrópico considerable (6 m) el informe geotécnico recomienda una cimentación pilotes. Sin embargo, debido a las reducidas dimensiones de la parcela, la maquinaria de pilotes tendría problemas de movilidad y espacio para ejecutar los trabajos, por lo que se estudia realizar una cimentación por micropilotes.

3.3 PROPUESTA DE CIMENTACIÓN POR MICROPILOTES

Se proyecta una cimentación por micropilotes, con las siguientes características: Diámetro perforación: 220 mm; Longitud: 27 m; Armadura: N-80, límite elástico: 5620 kg/cm²; Diámetro armadura tubular: 101,6 mm; Espesor armadura tubular: 9 mm; Lechada de cemento a/c = 0,50; Cemento: CEM I 42,5 R; Tipo de inyección: Inyección global única IGU. Se proyectan 2 o 3 micropilotes bajo el encepado de cada pilar.

Las cargas a cimentación (acciones) provienen de las cargas a la cimentación (arranques) de un programa de cálculo de estructuras (tipo Cype o similar). Para el pilar más cargado, P8, las cargas son: Axil por cargas permanentes: $N_g = 124,58$ T; Axil por sobrecarga de uso: $N_q = 21,17$ T; Carga axil característica (sin mayorar) $N_k = N_g + N_q = 124,58 + 21,17 = 145,75$ T $\approx 1457,50$ KN.

3.4 COMPROBACIÓN CON MICROPILOTES v1.0

La ventana principal de Micropilotes v1.0 tiene 2 áreas claramente diferenciadas. Estas son: la barra de herramientas y la zona principal de trabajo, que corresponde con la parte central de la ventana principal del programa, donde se encuentran los diferentes botones para la introducción de datos, calcular y obtener resultados (Figura 2).

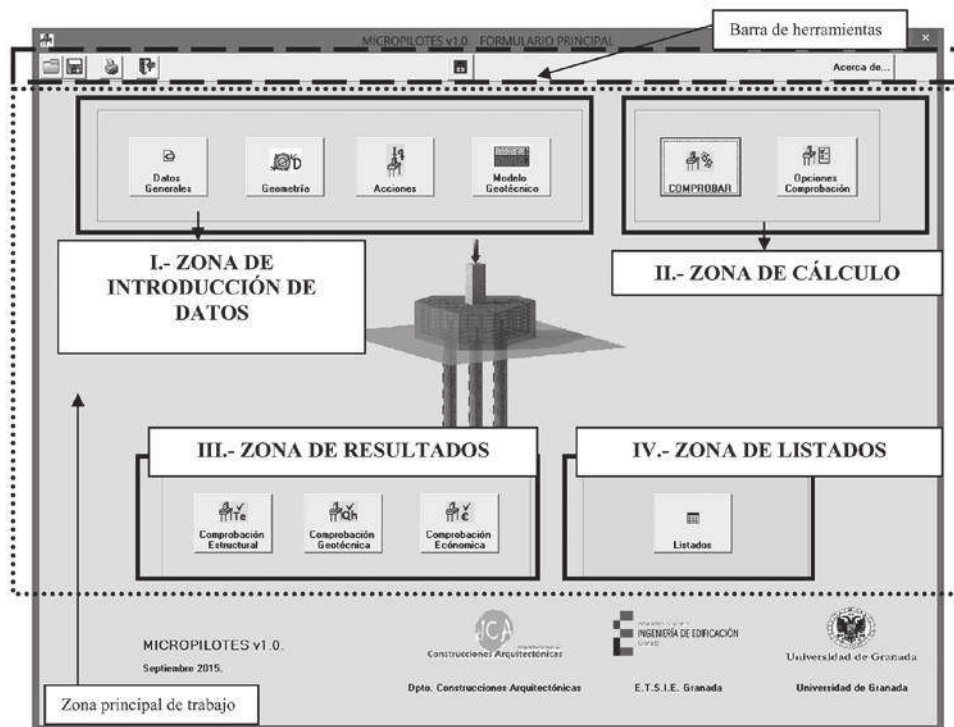


Figura 2. ventana Principal de Micropilotes v1.0. con las distintas zonas de trabajo

3.4.1 Comprobación estructural en Micropilotes v1.0.

Es la comprobación denominada también de Tope Estructural. Se presentan cuatro marcos (1, 2, 3, 4) (Figura 3).

- Marco (1). Resumen de la comprobación. Permite de una manera sencilla y rápida realizar la validación a resistencia estructural (Tope Estructural).
- Marco (2). Contribución a la Resistencia Estructural de los distintos componentes del micropilote.
- Marco (3). Parámetros contribución lechada a Resistencia Estructural.
- Marco (4). Parámetros contribución armadura tubular a Resistencia Estructural.

Resultado de la comprobación: coeficiente de uso: 1,30. Comprobación: Favorable. Si la comprobación que representa el coeficiente de uso es satisfactoria ($C.U. \geq 1$) el fondo de dicha casilla aparecerá en verde, mientras que si la comprobación no es satisfactoria ($C.U. < 1$) aparecerá en rojo.

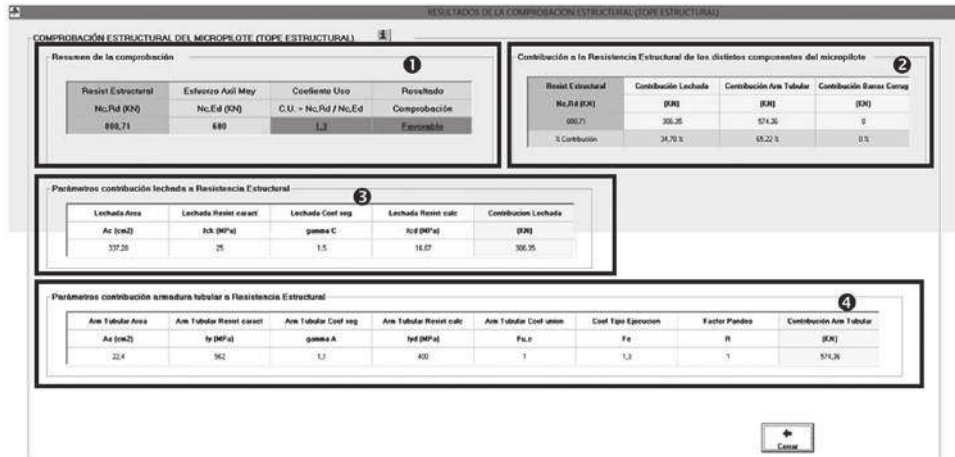


Figura 3. Resultados de la Comprobación Estructural en el software Micropilotes V.1.0.,
ventanas análogas a los resultados obtenidos en la comprobación geotécnica

3.4.2 Comprobación geotécnica en Micropilotes v1.0

Es la comprobación denominada también de Hundimiento. La ventana de presentación de datos posee diferente forma en lo referente a marcos y pestañas según sean los métodos de cálculo de comprobación empleados. No obstante todos tienen en común la existencia un marco de resumen de la comprobación donde se facilita al usuario el coeficiente de uso (C.U.) de la comprobación realizada, y otros marcos auxiliares que complementan al principal dando los parámetros relevantes de una manera más extendida (habitualmente por los diferentes niveles geotécnicos definidos). En este caso se obtienen los siguientes resultados:

- Método de Michel Bustamante: coeficiente de uso=1.35, es decir, comprobación favorable.
- Método de correlaciones empíricas GMOC: coeficiente de uso=1.18, es decir, comprobación favorable. En cambio por el método teórico de esta guía, se obtiene un coeficiente de uso desfavorable (0.65).

4. CONCLUSIONES

Micropilotes v1.0 es un software plenamente operativo que permite realizar la comprobación por diferentes métodos de cálculo, de una única cimentación aislada o corrida por micropilotes, tanto en obra nueva como en recalce, bajo unas determinadas acciones y con un modelo geotécnico del terreno definido por el usuario.

A diferencia de otros software, Micropilotes v1.0 comprueba micropilotes como elementos de cimentación, tanto a través de consideraciones o comprobaciones del cimiento (comprobación estructural) como geotécnicas, ya que los existentes, calculan los micropilotes únicamente como elemento de contención. Algunos si comprueban

elementos de cimentación profundos tipo pilotes, pero sólo desde el punto de vista del cimientado (estructural), sin hacer aquellas comprobaciones correspondientes a las geotécnicas. Por ello, el software que aquí se presenta, Micropilotes v1.0, es un avance más en el cálculo y comprobaciones de micropilotes.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CYPE Ingenieros S.A. (2016). Software CYPE. Cálculo de estructuras y cimentaciones. Alicante, v. 2016a.
- [2] TRICALC (2012). Arktec S.A. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Madrid, v. 7.5.
- [3] Ministerio de la Vivienda (2006). Código Técnico en la Edificación (CTE-DB-SE-C). Madrid
- [4] Ministerio de Fomento, Dirección general de carreteras (2006). Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera (GMOC).
- [5] Romana Ruiz, M. & Delgado Alonso-Martirena, C. (2007). Memoria de las Jornadas Técnicas sobre Recalces y Micropilotes, Servicios Técnicos de Mecánicas de Rocas S.L. (STMR).
- [6] Bustamante, M. (1986). Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados. Boletín de Información del Laboratorio de Carreteras nº174, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Sección de Cimentaciones, Laboratorio Central de Puentes y Caminos (París).
- [7] Valverde-Palacios, I.; Fuentes, R.; Valverde-Espinosa, I.; Martín-Morales, M.; & Santos-Sánchez, J. (2014). El recalce con micropilotes para la conservación de un muro de tierra compactada realizado con la técnica del tapial. *Informes de la Construcción*, Vol 66, No 534, e023. doi:10.3989/ic.12.131